

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number : 2000-117972

(43) Date of publication of application : 25.04.2000

(51) Int.Cl.
B41J 2/045
B41J 2/055
B41J 2/16

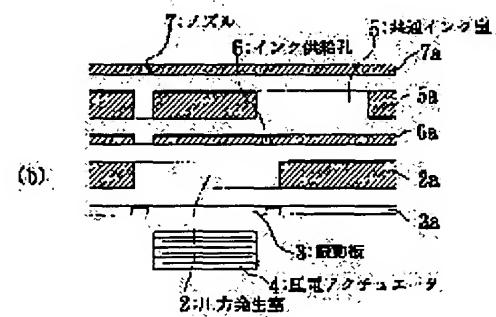
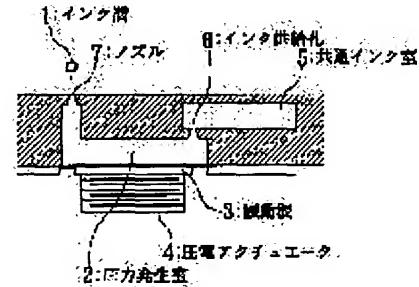
(21) Application number : 10-292525 (71) Applicant : NEC CORP
(22) Date of filing : 14.10.1998 (72) Inventor : OKUDA SHINICHI

(54) INK JET RECORDING HEAD AND INK JET RECORDING DEVICE

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an ink jet recording device of high quality reliability which is stable at ambient temperature using a piezoelectric element.

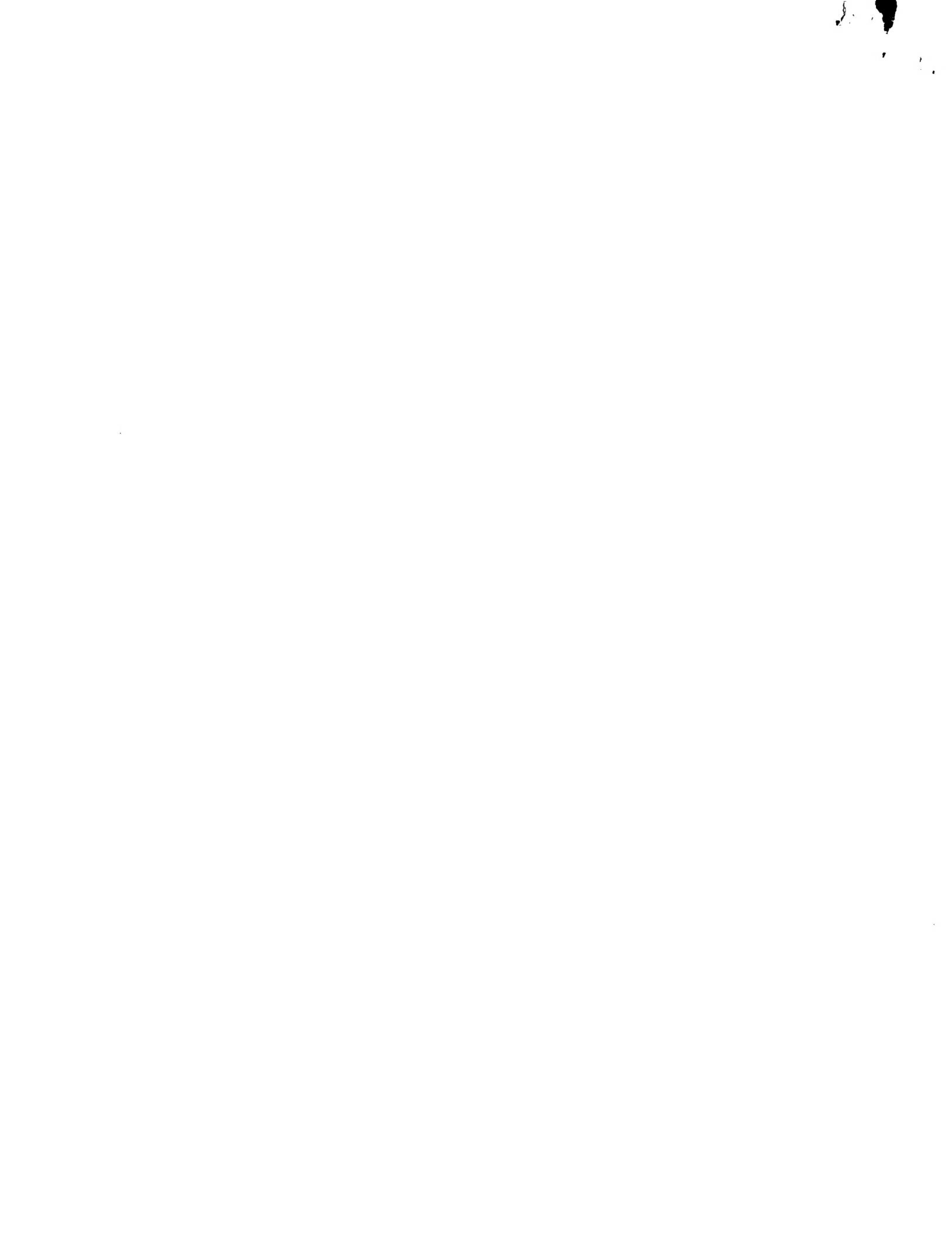
SOLUTION: The ink jet recording head according to the present invention is provided with a pressure generation member 2 to be filled with ink, a piezoelectric element 4 which generates pressure inside the pressure generation member 2, a common ink member 5 which supplies the ink to the pressure generation member 2 through an ink supply hole 6 and a nozzle 7 for discharging ink droplets 1. The shapes of the nozzle 7, the ink supply hole 6 and the pressure generation member 2 are such that the inertial resistance of the discharge system consisting of the nozzle 7 filled with the ink, the ink supply hole 6 and the pressure generation member 2 satisfy the formula $0 < mr < 1.9 \times 10^8 [kg/m^4]$ $4.0 \times 10^12 < rT < 11.0 \times 10^12 [Ns/m^5]$ respectively.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 14.10.1998

[Date of sending the examiner's decision] 12.06.2001



[rejection]

[Kind of final disposal of application other than
the examiner's decision of rejection or
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3250530

[Date of registration] 16.11.2001

[Number of appeal against examiner's
decision of rejection] 2001-12202

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection] 12.07.2001

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

7

1

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2000-117972
(P2000-117972A)

(13)公開日 平成12年4月25日 (2000.4.25)

(51)Int.Cl.
B 41 J 2/045
2/055
2/16

識別記号

F I
B 41 J 3/04

テーマコード(参考)
103A 2C057
103H

審査請求 有 請求項の数10 OL (全14頁)

(21)出願番号 特願平10-292525
(22)出願日 平成10年10月14日 (1998.10.14)

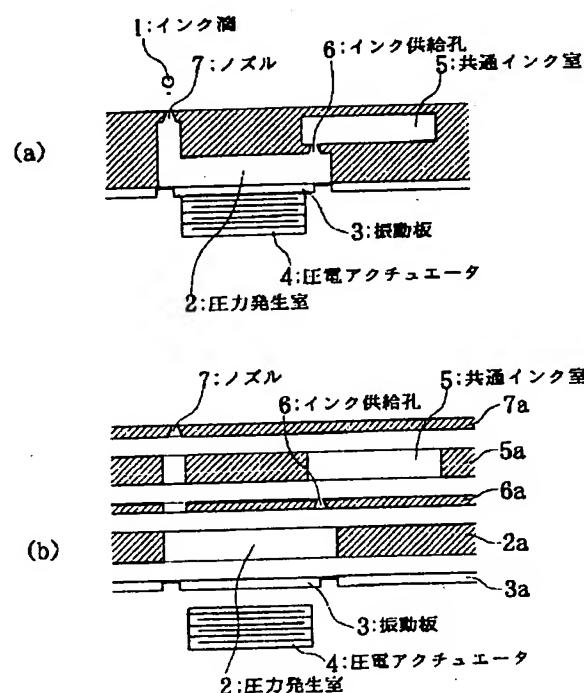
(71)出願人 000004237
日本電気株式会社
東京都港区芝五丁目7番1号
(72)発明者 奥田 真一
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株
式会社内
(74)代理人 100099830
弁理士 西村 征生
Fターム(参考) 2C057 AF06 AF39 AG02 AG44 AG48
BA04 BA14 CA01

(54)【発明の名称】 インクジェット記録ヘッド及びインクジェット記録装置

(57)【要約】

【課題】 装置使用時の環境温度の変化に依らず、常に安定した状態で、高速かつ高画質の記録を得る。

【解決手段】 開示されるインクジェット記録ヘッドは、インクが充填される圧力発生室2と、圧力発生室2内に圧力変化を生じさせる圧電アクチュエータ4と、インク供給孔6を介して、圧力発生室2にインクを供給する共通インク室5と、インク滴1を吐出させるノズル7とインク供給孔6と圧力発生室2からなる流路系全体のイナーランス m_T 及び音響抵抗 r_T （温度略20°Cでの値）が、それぞれ式(1)、(2)を満たすように、ノズル7、インク供給孔6、圧力発生室2の形状が決められている。
 $0 < m_T < 1.9 \times 10^{-8} [\text{kg/m}^4] \dots (1)$
 $4.0 \times 10^{-12} < r_T < 11.0 \times 10^{-12} [\text{Ns/m}^5] \dots (2)$



【特許請求の範囲】

【請求項1】 インクが充填される圧力発生室と、該圧力発生室に圧力を発生させる圧力発生手段と、前記圧力発生室にインクを供給するためのインク供給室と、該インク供給室と前記圧力発生室とを連通させるためのインク供給路と、前記圧力発生室に連通されるノズルとを備え、前記圧力発生手段によって前記圧力発生室内に圧力変化を生じさせることにより、前記ノズルからインク滴を吐出させるインクジェット記録ヘッドであって、インク充填状態における前記ノズルと前記インク供給路と前記圧力発生室とのイナータンスの総和 $m\tau$ 及び音響抵抗の総和 $r\tau$ （温度略20°Cでの値）が、それぞれ式(1)、(2)を満たすように、前記ノズル、前記インク供給路、及び前記圧力発生室の形状が設定されていることを特徴とするインクジェット記録ヘッド。

【数1】

$$0 < m\tau < 1.9 \times 10^{-8} [\text{kg/m}^4] \quad \cdots (1)$$

【数2】

$$0 \times 10^{12} < r\tau < 11.0 \times 10^{12} [\text{Ns/m}^5] \quad \cdots (2)$$

【請求項2】 前記ノズルが、前記圧力発生室側に向かって径が徐々に増加するテーパ部を有すると共に、該テーパ部のテーパ角が10～45度であることを特徴とする請求項1記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項3】 前記ノズルが、開口部付近に設けられたストレート部と前記圧力発生室側に向かって徐々に増加するテーパ部とからなると共に、該テーパ部のテーパ角が15～45度であることを特徴とする請求項1記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項4】 前記ノズルの径が、前記圧力発生室側に向かって徐々に増加し、前記ノズルの縦断面が該ノズルの長さと略同等の半径を有する曲線形状であると共に、前記ノズルの長さが50～100μmであることを特徴とする請求項1記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項5】 前記ノズルの開口径が、25～32μmであることを特徴とする請求項1、2、3又は4記載のインクジェット記録ヘッド。

$$4.0 \times 10^{12} < r\tau < 11.0 \times 10^{12} [\text{Ns/m}^5] \quad \cdots (3)$$

【請求項10】 請求項1乃至9のいずれか1に記載のインクジェット記録ヘッドを搭載してなることを特徴とするインクジェット記録装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、ノズルから微小なインク滴を吐出して文字や画像の記録を行うインクジェット記録ヘッド及び該ヘッドが搭載されるインクジェット記録装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来から、この種の記録ヘッドの1つとして、印字情報に応じてノズルからインク滴を吐出す、いわゆるオンデマンド型インクジェット記録ヘッドが広く知られている（例えば、特公昭53-12138号公報参照）。図11は、オンデマンド型インクジェット記録ヘッドのうち、カイザー型と呼ばれるインクジェット記録ヘッドの基本構成を概略示す断面図である。このカイザー型記録ヘッドにおいては、同図に示すように、インクの上流側で、圧力発生室91と共にインク室92とがインク供給孔（インク供給路）93を介して連結され、また、インクの下流側で圧力発生室91とノズル94とが連結されている。また、圧力発生室91の図

2

*ク充填状態における前記ノズルと前記インク供給路と前記圧力発生室とのイナータンスの総和 $m\tau$ 及び音響抵抗の総和 $r\tau$ （温度略20°Cでの値）が、それぞれ式(1)、(2)を満たすように、前記ノズル、前記インク供給路、及び前記圧力発生室の形状が設定されていることを特徴とするインクジェット記録ヘッド。

【数1】

$$0 < m\tau < 1.9 \times 10^{-8} [\text{kg/m}^4] \quad \cdots (1)$$

【数2】

$$0 \times 10^{12} < r\tau < 11.0 \times 10^{12} [\text{Ns/m}^5] \quad \cdots (2)$$

※【請求項6】 前記インク供給路は、前記インク供給室と前記圧力発生室とを連通させるためのインク供給孔であることを特徴とする請求項1記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項7】 前記インク滴の最大滴径が38～43μmに設定されていることを特徴とする請求項1記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項8】 表面張力が、25～35mN/mに設定されたインクを使用することを特徴とする請求項1記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項9】 インク充填状態における前記ノズルと前記インク供給路と前記圧力発生室との前記音響抵抗の総和 $r\tau$ （温度略20°Cでの値）が、式(3)を満たすように、粘度が設定されているインクを使用することを特徴とする請求項1記載のインクジェット記録ヘッド。

【数3】

中底板部が、振動板95によって構成され、この振動板95の裏面には、圧電アクチュエータ96が設けられている。このような構成において、印字動作時には、印字情報に応じて圧電アクチュエータ96を駆動して振動板95を変位させ、これにより、圧力発生室91の体積を急激に変化させて圧力発生室91に圧力波を発生させる。この圧力波によって、圧力発生室91に充填されているインクの一部がノズル94を通じて外部に噴射され、インク滴97となって吐出する。吐出したインク滴98は、記録紙等の記録媒体上に着弾し、記録ドットを形成する。このような記録ドットの形成を印字情報に基づいて繰り返し行うことにより、記録媒体上に文字や画像が記録されることになる。

【0003】 ここで、図12及び図13を参照して、メニスカスの挙動と印字性能との関連性について考察する。図12は、上述のインク滴吐出過程において、ノズル部94のメニスカスMがどのように変化するかを示す断面図、また、図13は、インク滴吐出後におけるメニスカスM位置の時間的変動を示すグラフである。インク滴97の吐出前においては、図12(a)に示すように、メニスカスMは、ノズル94の開口面近傍に位置するよう設定される。圧電アクチュエータ96が駆動さ

れ、インク滴97が吐出されると、同図(b)に示すように、インクの排出量に応じて、メニスカスMはノズル94の内部に後退する。このとき、同図(c)に示すように、メニスカスMがノズル94の内部に後退した状態のまま、次の吐出を実行すると、吐出状態(滴径、滴速等)が変化したり、吐出不良を招いてしまう。したがって、安定した連続吐出を実現するためには、同図(d)に示すように、後退したメニスカスMが表面張力に作用によって初期位置近傍に復帰するまで待ってから、次の吐出を行うことが重要である。すなわち、図1¹⁰3に示すように、インクの吐出後リフィルされるまでに要する時間(リフィル時間 t_r)が経過してから次の吐出を行うことが肝要である。

【0004】以上の説明から、インクジェット記録ヘッドの最高吐出周波数 f_e は、ヘッドのリフィル時間 t_r に依存することがわかる。すなわち、最高吐出周波数 f_e で動作させて高速記録を実現するためには、 $t_r < 1/f_e$ の条件を満足できるように、リフィル時間 t_r を短くする必要がある。具体的には、ノズル94、圧力発生室93、インク供給孔(インク供給路)91から構成²⁰される流路系の断面積を増加したり、インクの粘度を減少させることによって、流路抵抗を減少させれば、リフィル時間 t_r を短縮できる。しかしながら、流路抵抗が減少すれば、リフィル時間 t_r は短縮する反面、図13に示すように、メニスカスMのオーバーシュート X_{max} が増加する、という副作用が現れる。つまり、オーバーシュート X_{max} が大きければ、インク滴97の吐出直前のメニスカスMの状態(位置、速度)が一定にはならなくなるため、インク滴97の滴径や滴速(吐出速度)にばらつきが生じる、という不都合な問題が起きるのである。したがって、滴径や滴速の精度を確保しようとする場合、メニスカスMのオーバーシュート X_{max} を一定値以下に抑えることが条件となる。特に、滴径変調による高画質記録を実現しようとする場合、滴径・滴速には高い精度が要求されるため、オーバーシュート量 X_{max} は、最大でも、 $10\mu m$ 程度でなければならない。オーバーシュート X_{max} を抑制するための具体的対策としては、流路系の断面積を減少したり、インク粘度を増加させて流路抵抗を増加させれば良いのであるが、流路抵抗が増加すると、上記したように、リフィル時間 t_r が長くなるので、今度は、高速記録が犠牲にされるという、不都合が生じる。

【0005】このように、インクジェット記録ヘッドにおいて、滴径変調による高画質記録と高速記録とを同時に実現するには、リフィル時間 t_r の短縮とオーバーシュート X_{max} の抑制という相反する条件を同時に満足させなければならないので、大変困難である。それでも、従来では、ノズルやインク供給孔(インク供給路)等の形状を工夫したり、インクの粘度を調整することで、リフィル時間短縮とオーバーシュート抑制とができるだけ⁵⁰

立させて、高画質記録と高速記録とを同時に実現する試みがなされてきた。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の試みでは、装置の使用温度範囲の全域にわたって、リフィル時間短縮とオーバーシュート抑制とを常に両立させることは、極めて困難な問題であった。なぜならば、環境温度によってインクの物性が変化し、この結果、リフィル特性が大きく変化してしまうためである。後述するが、インクジェット記録ヘッドのリフィル特性は、ノズルやインク供給孔(インク供給路)や圧力発生室等から構成される流路系のイナータンス(音響質量)及び音響抵抗、さらには、メニスカス部における音響容量によって支配される。このうち、イナータンスはインクの密度に、音響抵抗はインクの粘度に、音響容量はインクの表面張力にそれぞれ依存する。このため、環境温度によってインク物性(密度、粘度、表面張力)が変わると、流路系の特性パラメータ(イナータンス、音響抵抗、音響容量)が変化し、結果的にリフィル特性に大きな変化が生じてしまうのである。実際には、装置の使用温度範囲を $10 \sim 35^\circ C$ (室温付近)とした場合、密度及び表面張力の温度依存性は殆ど無視できるが、インク粘度の温度変化は無視できない。

【0007】例えば、装置使用温度範囲を $10 \sim 35^\circ C$ とした場合、一般的な水性インクでは、インク粘度に $2.0 \sim 2.5$ 倍程度の変化が生じるのである。環境温度が低い場合には、インク粘度が増加するため、流路系の音響抵抗が増加し、所望のリフィル時間 t_r が得られ難くなる。逆に、環境温度が高くなると、インク粘度が減少するため、リフィル時間 t_r は短縮するが、しかし、メニスカスのオーバーシュート X_{max} が増加してしまう。

【0008】具体例として、あるインクジェット記録ヘッドについての実験結果の一例を示すと、室温($20^\circ C$)ではリフィル時間 t_r が $90\mu s$ 、オーバーシュート X_{max} が $5\mu m$ であった。このインクジェット記録ヘッドでは、目標駆動周波数が、 10 kHz で、このときのオーバーシュート X_{max} の許容値が $10\mu m$ であるので、室温($20^\circ C$)においては、目標リフィル時間 t_r ($100\mu s$ 以下)の確保とオーバーシュート X_{max} の抑制を両立できていることになる。しかしながら、環境温度を $10^\circ C$ に低下させた場合には、オーバーシュート X_{max} は $2\mu m$ に減少してオーバーシュート条件を満たす反面、リフィル時間 t_r は $116\mu s$ に増加し、目標リフィル時間 t_r を確保できなくなった。反対に、環境温度を $35^\circ C$ に上昇させた場合には、リフィル時間 t_r が、 $72\mu s$ に短縮してリフィル時間条件を満たすのであるが、オーバーシュートが $14\mu m$ に増加し、オーバーシュート X_{max} の抑制ができなくなることがわかつた。

【0009】以上詳述したように、インク粘度が大きな温度依存性を有するため、装置使用温度範囲の全域にわたって、目標リフィル時間の確保とオーバーシュートの抑制を両立させることは極めて困難である。特に、高速記録を実現するために、吐出するインク滴径を大きく設定した場合に、このようなインク物性の温度変化に起因する印字性能の劣化が顕著になる。例えば、記録解像度を400 dpi程度に高く設定した場合、必要となるインク滴径（最大滴径）は38～43 μm程度となる。このように大きなインク滴を吐出した場合には、吐出直後のメニスカスの後退量が大きくなるため、リフィル時間やオーバーシュートが増大し易くなると共に、環境温度変化の影響も受け易くなってしまう。現実に、インク滴径（最大滴径）約40 μm、吐出周期10 kHz以上、オーバーシュート許容値10 μm、装置使用温度範囲10～35°Cの条件で、リフィル時間確保とオーバーシュート抑制を完全に両立できるインクジェット記録ヘッドは従来は存在していない。なお、この明細書において、滴径とは、1回の吐出で排出されるインク総量を1つの球状の滴に置き換えた場合の直径を意味する。

【0010】この発明は、上述の事情に鑑みてなされたもので、装置使用時の環境温度が変化しても、目標リフィル時間の確保とオーバーシュート抑制を常に両立でき、滴径及び滴速の精度が高い安定したインク滴を高速に吐

$$4.0 \times 10^{12} < r_T < 11.0 \times 10^{12}$$

【0014】請求項2記載の発明は、請求項1記載のインクジェット記録ヘッドに係り、上記ノズルが、上記圧力発生室側に向かって径が徐々に増加するテーパ部を有すると共に、該テーパ部のテーパ角が10～45度であることを特徴としている。

【0015】請求項3記載の発明は、請求項1記載のインクジェット記録ヘッドに係り、上記ノズルが、開口部付近に設けられたストレート部と上記圧力発生室側に向かって徐々に増加するテーパ部とからなると共に、該テーパ部のテーパ角が15～45度であることを特徴としている。

【0016】請求項4記載の発明は、請求項1記載のインクジェット記録ヘッドに係り、上記ノズルの径が、上記圧力発生室側に向かって徐々に増加し、上記ノズルの縦断面が該ノズルの長さと略同等の半径を有する曲線形状であると共に、上記ノズルの長さが50～100 μmであることを特徴としている。

【0017】また、請求項5記載の発明は、請求項1, 2, 3又は4記載のインクジェット記録ヘッドに係り、上記ノズルの開口径が、25～32 μmであることを特徴としている。

$$4.0 \times 10^{12} < r_T < 11.0 \times 10^{12}$$

【0023】また、請求項10記載の発明は、インクジェット記録装置に係り、請求項1乃至9のいずれか1に記載のインクジェット記録ヘッドを搭載してなることを

*出できるインクジェット記録ヘッド及び該ヘッドが搭載されるインクジェット記録装置を提供することを目的としている。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するためには、請求項1記載の発明は、インクが充填される圧力発生室と、該圧力発生室に圧力を発生させる圧力発生手段と、上記圧力発生室にインクを供給するためのインク供給室と、該インク供給室と上記圧力発生室とを連通させるためのインク供給路と、上記圧力発生室に連通されるノズルとを備え、上記圧力発生手段によって上記圧力発生室内に圧力変化を生じさせることにより、上記ノズルからインク滴を吐出させるインクジェット記録ヘッドに係り、インク充填状態における上記ノズルと上記インク供給路と上記圧力発生室とのイナータンスの総和 m_T 及び音響抵抗の総和 r_T (温度略20°Cでの値) が、それぞれ式(4), (5)を満たすように、上記ノズル、上記インク供給路、及び上記圧力発生室の形状が設定されていることを特徴としている。

【0012】

【数4】

$$0 < m_T < 1.9 \times 10^8 [\text{kg/m}^4] \quad \dots (4)$$

【0013】

【数5】

$$4.0 \times 10^{12} [\text{Ns/m}^5] \quad \dots (5)$$

*【0018】請求項6記載の発明は、請求項1記載のインクジェット記録ヘッドに係り、上記インク供給路が、上記インク供給室と上記圧力発生室とを連通させるためのインク供給孔であることを特徴としている。

【0019】また、請求項7記載の発明は、請求項1記載のインクジェット記録ヘッドに係り、上記インク滴の最大滴径が38～43 μmに設定されていることを特徴としている。

【0020】また、請求項8記載の発明は、請求項1記載のインクジェット記録ヘッドに係り、表面張力が、25～35 mN/mに設定されたインクを使用することを特徴としている。

【0021】また、請求項9記載の発明は、請求項1記載のインクジェット記録ヘッドに係り、インク充填状態における上記ノズルと上記インク供給路と上記圧力発生室との上記音響抵抗の総和 r_T (温度略20°Cでの値) が、式(6)を満たすように、粘度が設定されているインクを使用することを特徴としている。

【0022】

【数6】

$$4.0 \times 10^{12} [\text{Ns/m}^5] \quad \dots (6)$$

特徴としている。

【0024】

【発明の理論的妥当性】集中定数系等価回路モデルを用

7

いて、この発明の妥当性の理論的根拠について説明する。図9は、リフィル動作時におけるインクジェット記録ヘッドの等価回路図である。この等価回路から、リフィル動作時におけるメニスカス運動は、式(7)の微分方程式によって支配されることがわかる。

【0025】

【数7】

$$m_T \frac{d^2 x}{dt^2} + r_T \frac{dx}{dt} + \frac{1}{C_3} x = 0 \quad \dots(7)$$

【0026】式(7)において、 m_T は、インク充填状態におけるノズル、インク供給路及び圧力発生室のイナータンス(音響質量)の総和である。各部におけるイナータンス m は、管路断面積を S [m²]、管路長さを l [m]、インク密度を ρ [kg/m³]とすると、式(8)で与えられる。

【0027】

【数8】

$$m = \int_0^l \frac{\rho}{S} dx \quad \dots(8)$$

【0028】また、式(7)において、 r_T は、インク充填状態におけるノズル、インク供給路及び圧力発生室の音響抵抗の総和である。各部における音響抵抗 r は、管路断面が円形の部分では、インク粘度を η [Pa·s]、管路径を d [m]とすると、式(9)で与えられ、管路断面が長方形の部分では、断面のアスペクト比(縦横比)を z とすると、式(10)で与えられる。

【0029】

【数9】

$$r = \int_0^l \frac{128 \eta}{\pi d^4} dx \quad \dots(9)$$

【0030】

【数10】

$$r = \frac{12 \eta l}{s^4} \left\{ 0.33 \times 1.02 \left(z + \frac{1}{z} \right) \right\} \quad \dots(10)$$

【0031】また、式(7)において、 C_3 は、メニスカスの音響容量[m⁵/N]であり、ノズル開口径を d_3 [m]、インクの表面張力を σ [N/m]、メニスカスの後退量を x [m]とすると、式(11)で与えられる。

【0032】

【数11】

$$C_3 = \frac{\pi d_3^4}{64 \sigma} \sqrt{1 + \frac{16x}{d_3^2}} \quad \dots(11)$$

【0033】なお、式(7)からメニスカス位置の時間変化を求めるには、リフィル開始時におけるメニスカスの初期位置 x_0 を与える必要がある(図12(b)及び図13参照)が、滴径を d_d [m]とした場合、メニスカスの初期位置 x_0 は、式(12)で与えられる。係数 κ は、ノズルの形状等によって多少変化するが、通常

8

0.5～0.7程度の値となる。この出願に係る発明者等の計算では、実験結果に基づいて $\kappa=0.67$ とした。

【0034】

【数12】

$$x_0 = \kappa \frac{d_d^2}{d_3} \quad \dots(12)$$

【0035】式(7)～式(12)からわかるように、ノズル開口径 d_3 (図12(a))、インクの表面張力 σ 及びインクの滴径 d_d が決まると、リフィル動作を支配するパラメータはイナータンス m_T 及び音響抵抗 r_T の2つだけとなる。すなわち、イナータンス m_T 及び音響抵抗 r_T の組み合わせによって、リフィル特性(リフィル時間、オーバーシュート量)が決まることがある。ここで、イナータンス m_T をある値に設定すれば、目標リフィル時間を実現するための音響抵抗 r_T の上限及びオーバーシュート量を許容値以下に納めるための音響抵抗 r_T の下限が決まる。それを実際に求めた例が、図10に示すグラフである($d_3=30\mu m$ 、 $\sigma=33mN/m$ 、 $d_d=40\mu m$ 、吐出周波数 $f_e=10kHz$ の条件で計算)。図10のグラフは、イナータンス m_T を0.5～4.5×10⁸ kg/m⁴の範囲で変化させ、それぞれのイナータンス m_T に対応した音響抵抗 r_T の上限/下限をプロットしたものである。

【0036】図10において、□プロットは、目標リフィル時間(100μs)を確保するための音響抵抗 r_T の上限を表している。音響抵抗 r_T がこの上限を越えると、目標吐出周波数を得られなくなってしまう。また、◇プロットは、オーバーシュート量を許容値(10μm)以下に納めるための音響抵抗 r_T の下限を表している。したがって、音響抵抗 r_T が上限と下限の間(斜線部領域)に入るようにイナータンス m_T と音響抵抗 r_T とを設定すれば、目標リフィル時間の確保とオーバーシュートの抑制を両立できることになる。例えば、あるインクジェット記録ヘッドにおいて、環境温度が室温(20°C)のときは、イナータンス m_T と音響抵抗 r_T (20°Cのインク粘度2.9mPa·sを用いて計算)の組み合わせが図10の○プロットの位置にあったとする。室温(20°C)の環境温度では、音響抵抗 r_T は、上限と下限の間に位置しているため、目標リフィル時間の確保とオーバーシュートの抑制を両立できる。しかし、環境温度が10～35°Cの範囲で変化すると、インク粘度 η が1.8～3.8mPa·sの範囲で変化し、これによって、音響抵抗 r_T は、同図の矢印で示した範囲で変化してしまう。すなわち、低温時には、音響抵抗 r_T が上限を越えてしまうために、リフィルが間に合わなくなる、また、高温時には音響抵抗 r_T が下限を越えてしまうため、オーバーシュート量が許容値を越えてしまう。つまり、このインクジェット記録ヘッドは、環境温度変化に対応できないヘッド構造ということになる。

【0037】次に、環境温度が室温(20°C)のとき、イナータンスマ_Tと音響抵抗r_Tとの組み合わせが、同図の△プロットの位置にあるインクジェット記録ヘッドを考える。このインクジェット記録ヘッドでは、環境温度が10~35°Cの範囲で変化しても、同図から明らかのように、常に、上限と下限の間に位置している。したがって、このヘッドは、10~35°Cの範囲で常に目標リフィル時間の確保とオーバーシュートの抑制を両立でき、環境温度変化に対応できる。つまり、インクジェット記録ヘッドを環境温度変化に対応可能とするために¹⁰は、装置使用温度範囲内で、常に音響抵抗r_Tが上限と下限の間に位置するように、イナータンスマ_T及び音響抵抗r_Tを設定することが重要なポイントとなる。ところが、従来では、イナータンスマ_Tと音響抵抗r_Tとのバランスを最適化するという観点に立脚した設計思想が知られていなかったため、この出願に係る発明者等の分析結果によれば、インク滴径が3.8~4.3μmに設定され、かつ、10~35°Cの環境温度の全域で、音響抵抗r_Tが常に許容範囲(上限値と下限値の間)に入るよう²⁰に設計されているヘッドは存在しない。

【0038】なお、式(7)~式(12)からわかるように、イナータンスマ_Tと音響抵抗r_Tの許容範囲は、本来、インク滴径d_d、ノズル開口径d₃、インクの表面張力σ、最大吐出周波数及びオーバーシュート許容値の5つのパラメータに依存する関数として表される。しかし、この発明は、環境温度の影響が特に顕著になる低解像度記録時(400dpi程度)の大滴をも対象としているため、イナータンスマ_Tと音響抵抗r_Tの許容範囲を次のように数値的に規定することができる。

【0039】すなわち、最大吐出周波数を10kHz^{*30}

$$0 < m_T < 1.9 \times 10^8 [\text{kg/m}^4] \quad \dots (13)$$

【0041】

$$4.0 \times 10^{12} < r_T < 11.0 \times 10^{12} [\text{Ns/m}^5] \quad \dots (14)$$

【0042】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、この発明の実施の形態について説明する。説明は、実施例を用いて具体的に行う。

◇第1実施例

図1(a)は、この発明の第1実施例であるインクジェット記録装置に搭載されるインクジェット記録ヘッドの構成を示す断面図、同図(b)は、同インクジェット記録ヘッドを分解して示す分解断面図、同図2は、同インクジェット記録ヘッドを駆動する滴径非変調型駆動回路の電気的構成を示すブロック図、また、図3は、同インクジェット記録ヘッドを駆動する滴径変調型駆動回路の電気的構成を示すブロック図である。この例のインクジェット記録ヘッドは、図1(a)に示すように、必要に応じてインク滴1を吐出させて、記録紙上に文字や画像を印字するオンデマンド・カイザー型マルチノズル式記録ヘッドに係り、図1に示すように、細長立方体形状に⁵⁰

*M、オーバーシュート許容値を10μmとした場合、この発明が対象とする範囲(インク滴の最大滴径d_d=3.8~4.3μm、ノズル開口径d₃=2.5~3.2μm、インクの表面張力σ=2.5~3.5mN/m)でイナータンスマ_Tの上限値及び音響抵抗r_Tの最適値が最も大きくなるのは、インク滴径d_d=3.8μm、ノズル開口径d₃=2.5μm、インクの表面張力σ=3.5mN/mの場合である。環境温度の変動範囲を10~35°C程度とすると、好ましいイナータンスマ_Tの上限値は略1.9×10⁸kg/m⁴となり、音響抵抗r_T(20°C)の許容範囲は9.0×10¹²<r_T<11.0×10¹²[Ns/m⁵]となる。また、逆に、イナータンスマ_Tの上限値及び音響抵抗r_Tの最適値が最も小さくなるのは、インク滴径d_d=4.3μm、ノズル開口径d₃=3.2μm、インクの表面張力σ=2.8mN/mの場合であり、このときのイナータンスマ_Tの上限値は略0.9×10⁸kg/m⁴となり、音響抵抗r_T(20°C)の許容範囲は4.0×10¹²<r_T<5.0×10¹²[Ns/m⁵]となる。それゆえ、この発明が対象とする範囲(インク滴の最大滴径d_d=3.8~4.3μm、ノズル開口径d₃=2.5~3.2μm、インクの表面張力σ=2.5~3.5mN/m)に設定されたインクジェット記録ヘッドが、10~35°C程度の環境温度範囲の全域で、最大吐出周波数10kHz以上、オーバーシュート許容値10μmを実現するには、少なくとも、式(13)、(14)の条件を満たすことが必要要件になるのである。

【0040】

【数13】

【数14】

それぞれ形成され、かつ、図中紙面垂直方向に並べられた複数の圧力発生室2と、各圧力発生室2の図中底面を構成する振動板3と、この振動板3の裏面に、かつ、各圧力発生室2に対応して並設された、積層型圧電セラミックスからなる複数の圧電アクチュエータ4と、図示せぬインクタンクと連結されて、各圧力発生室2にインクを供給するための共通インク室(インクプール)5と、この共通インク室5と各圧力発生室2とを1対1に連通させるための複数のインク供給孔(連通孔)6と、各圧力発生室2と1対1に設けられ、各圧力発生室2の屈曲上方に突起した先端部からインク滴1を吐出させる複数のノズル7とから概略構成されている。ここで、共通インク室5、インク供給路6、圧力発生室2及びノズル7によって、インクがこの順に移動する流路系が形成され、圧電アクチュエータ4と振動板3とから、圧力発生室2内のインクに圧力波を加える振動系が構成され、流路系と振動系との接点が、圧力発生室2の底面(すなわち

ら、振動板3の図中上面)となっている。

【0043】この実施例のヘッド製造工程では、図1(b)に示すように、複数のノズル7が列状に又は千鳥状に配列穿孔されたノズルプレート7aと、共通インク室5の空間部が形成されたプールプレート5aと、インク供給孔6が穿孔された供給孔プレート6aと、複数の圧力発生室2の空間部が形成された圧力発生室プレート2aと、複数の振動板3を構成する振動プレート3aとを予め用意した後、これらのプレート2a, 3a, 5a～7aを厚さ約20μmの図示せぬエポキシ系接着剤層10を用いて接着接合して積層プレートを作成し、次に、作成された積層プレートと圧電アクチュエータ4とをエポキシ系接着剤層を用いて接合することで、上記構成のインクジェット記録ヘッドを製造することが行われる。なお、この例では、振動プレート3aには、電鋸(エレクトロフォーミング)で成形された厚さ50～75μmのニッケル板が用いられるのに対し、他のプレート2a, 5a～7aには、厚さ50～75μmのステンレス板が用いられる。

【0044】次に、図2及び図3を参照して、この例のインクジェット記録装置を構成して、上記構成のインクジェット記録ヘッドを駆動する駆動回路の電気的構成について説明する。この例のインクジェット記録装置は、図示せぬCPU(中央処理装置)やROMやRAM等のメモリを有している。CPUは、ROMに記憶されたプログラムを実行して、RAMに確保された各種レジスタやフラグを用いて、インターフェイスを介してパーソナル・コンピュータ等の上位装置から供給された印字情報に基づいて、記録紙上に文字や画像を印刷するために、装置各部を制御する。

【0045】まず、図2の駆動回路は、所定の駆動波形信号を発生して電力増幅した後、印字情報に対応する所定の圧電アクチュエータ4, 4, …に供給して駆動することにより、滴径が常に略同じインク滴1を吐出させて、記録紙上に文字や画像を印字させるもので、波形発生回路21と、電力増幅回路22と、圧電アクチュエータ4, 4, …と1対1に接続された複数個のスイッチング回路23, 23, …とから概略構成されている。波形発生回路21は、デジタル・アナログ変換回路と積分回路とから構成され、CPUによりROMの所定の記憶エリアから読み出された駆動波形データをアナログ変換した後、積分処理して駆動波形信号を生成する。電力増幅回路22は、波形発生回路21から供給された駆動波形信号を電力増幅して電圧波形信号として出力する。スイッチング回路23は、入力端が電力増幅回路22の出力端に接続され、出力端が対応する圧電アクチュエータ4の一端に接続され、制御端に、図示せぬ駆動制御回路から出力される印字情報に対応する制御信号が入力されると、スイッチオンとなって、対応する電力増幅回路22から出力される電圧波形信号を圧電アクチュエータ4に50

印加する。圧電アクチュエータ4は、このとき、印加される電圧波形信号に応じた変位を振動板3に与え、振動板3の変位により、圧力発生室2に体積変化を生じさせて、インクが充填された圧力発生室2に所定の圧力波を発生させ、この圧力波によってノズル7から所定の滴径のインク滴1を吐出させる。吐出したインク滴は、記録紙等の記録媒体上に着弾し、記録ドットを形成する。このような記録ドットの形成を印字情報に基づいて繰り返し行うことにより、記録紙上に文字や画像が2値記録される。

【0046】次に、図3の駆動回路は、ノズルから吐出するインク滴の径を多段階(この例では、滴径40μm程度の大滴、30μm程度の中滴、20μm程度の小滴の3段階)に切り替えて、多階調で記録紙上に文字や画像を印字させる、いわゆる滴径変調型の駆動回路であり、滴径に応じた3種類の波形発生回路31a, 31b, 31cと、これらの波形発生回路31a, 31b, 31cと1対1に接続された電力増幅回路32a, 32b, 32cと、圧電アクチュエータ4, 4, …と1対1に接続された複数個のスイッチング回路33, 33, …とから概略構成されている。波形発生回路31a～31cは、いずれも、デジタル・アナログ変換回路と積分回路とから構成され、これらの波形発生回路31a～31cのうち、波形発生回路31aは、CPUによりROMの所定の記憶エリアから読み出された大滴吐出用の駆動波形データをアナログ変換した後、積分処理して大滴吐出用の駆動波形信号を生成する。波形発生回路31bは、CPUによりROMの所定の記憶エリアから読み出された中滴吐出用の駆動波形データをアナログ変換した後、積分処理して中滴吐出用の駆動波形信号を生成する。また、波形発生回路31cは、CPUによりROMの所定の記憶エリアから読み出された小滴吐出用の駆動波形データをアナログ変換した後、積分処理して小滴吐出用の駆動波形信号を生成する。電力増幅回路32aは、波形発生回路31aから供給された大滴吐出用の駆動波形信号を電力増幅して大滴吐出用の電圧波形信号として出力する。電力増幅回路32bは、波形発生回路31bから供給された中滴吐出用の駆動波形信号を電力増幅して中滴吐出用の電圧波形信号として出力する。また、電力増幅回路32cは、波形発生回路31cから供給された小滴吐出用の駆動波形信号を電力増幅して小滴吐出用の電圧波形信号として出力する。

【0047】また、スイッチング回路33は、図示せぬ第1, 第2, 第3のトランスマ・ゲートから構成され、第1のトランスマ・ゲートの入力端が電力増幅回路32aの出力端に接続され、第2のトランスマ・ゲートの入力端が電力増幅回路32bの出力端に接続され、第3のトランスマ・ゲートの入力端が電力増幅回路32cの出力端に接続され、第1, 第2, 第3のトランスマ・ゲートの出力端が対応する共通の圧電アクチ

ュエータ4の一端に接続されている。そして、図示せぬ駆動制御回路から出力される印字情報に対応する階調制御信号が第1のトランസフア・ゲートの制御端に入力されると、第1のトランಸフア・ゲートがオンとなって、電力増幅回路32aから出力される大滴吐出用の電圧波形信号を圧電アクチュエータ4に印加する。圧電アクチュエータ4は、このとき、印加される電圧波形信号に応じた変位を振動板3に与え、この振動板3の変位により、圧力発生室2を急激に体積変化(増加・減少)させて、インクが充填された圧力発生室2に所定の圧力波を¹⁰発生させ、この圧力波によってノズル7から大滴のインク滴1を吐出させる。駆動制御回路から出力される印字情報に対応する階調制御信号が第2のトランಸフア・ゲートの制御端に入力されると、第2のトランಸフア・ゲートが、オンとなって電力増幅回路32bから出力される中滴吐出用の電圧波形信号を圧電アクチュエータ4に印加する。圧電アクチュエータ4は、このとき、印加される電圧波形信号に応じた変位を振動板3に与え、振動板3の変位により、圧力発生室2を体積変化させて、インクが充填された圧力発生室2に所定の圧力波を²⁰発生させ、この圧力波によってノズル7から中滴のインク滴1を吐出させる。また、駆動制御回路から出力される印字情報に対応する階調制御信号が第3のトランಸフア・ゲートの制御端に入力されると、第3のトランಸフア・ゲートがオンとなって電力増幅回路32cから出力される小滴吐出用の電圧波形信号を圧電アクチュエータ4に印加する。圧電アクチュエータ4は、このとき、印加される電圧波形信号に応じた変位を振動板3に与え、振動板3の変位により、圧力発生室2に体積変化を生じさせて、インクが充填された圧力発生室2内に所定の圧力波³⁰を発生させ、この圧力波によってノズル7から小滴のインク滴1を吐出させる。吐出したインク滴は、記録紙等の記録媒体上に着弾し、記録ドットを形成する。このような記録ドットの形成を印字情報に基づいて繰り返しすることにより、記録紙上に文字や画像が多階調記録される。この実施例では、2値記録専用のインクジェット記録装置には、図2の駆動回路が組み込まれ、階調記録も行うインクジェット記録装置には、図3の駆動回路が組みられる。

【0048】図4は、この実施例のノズル7の形状(インク供給孔6も同一形状)を示す断面図、また、図5及び図6は、同実施例における流路全体のイナータンス m_T と音響抵抗 r_T との関係を示すグラフで、図6は、縦軸に流路全体の音響抵抗 r_T の上限/下限の比をとって、図5を書き直したものである。ここで、流路系全体のイナータンス m_T とは、インク充填状態におけるノズル7とインク供給路6と圧力発生室2とのイナータンスの総和のことであり、同様に、流路全体の音響抵抗とは、インク充填状態におけるノズル7とインク供給路6と圧力発生室2との音響抵抗の総和のことである。⁴⁰₅₀

の例のノズル7は、厚さ略 $70\mu m$ のステンレス板に精密プレス加工により穿孔して、開口径略 $30\mu m$ の円形開口とされ、かつ、図4に示すように、内部形状が、テープ角略15度、鋸歯径略 $67\mu m$ 、長さ略 $70\mu m$ のテープ形状とされている。また、インク供給孔6も、ノズル7と同一形状とされている。なお、この実施例では、表面張力が $33mN/m$ 、粘度が $20^{\circ}C$ において $4.5mPa \cdot s$ となるように調整されたインクが用いられる。このインクは、 $10 \sim 35^{\circ}C$ の環境温度変化で約2.1倍の粘度変化が生じる。

【0049】この例のインクジェット記録ヘッドは、環境温度が室温($20^{\circ}C$)のときは、図5に示すように、ヘッド流路全体のイナータンス m_T と音響抵抗 r_T との組み合わせが○プロットの位置を占め、環境温度が $10 \sim 35^{\circ}C$ の範囲で変化しても、音響抵抗の総和 r_T が常に上限値と下限値の間に位置するように設定されている。したがって、同図からわかるように、 $10 \sim 35^{\circ}C$ の温度範囲全域にわたって、目標リファイル時間($100\mu s$ 以下)の確保とオーバーシュートの抑制($10\mu m$ 以下)とを両立させることができる。

【0050】次に、上記のように、ノズル7及びインク供給孔6の形状、及びインクの粘度が決定されるに到った具体的手順について述べる。図5は、滴径 $40\mu m$ 、吐出周波数 $10kHz$ 、許容オーバーシュート量 $10\mu m$ 、インク表面張力 $33mN/m$ 、ノズル開口径 $30\mu m$ の条件で、流路全体の音響抵抗及びイナータンス m_T の許容範囲を求めた結果を示している。上記したように、この例で使用するインクは、 $10 \sim 35^{\circ}C$ の環境温度変化で約2.1倍の粘度変化が生じるので、これに伴い、流路全体の音響抵抗 r_T も $10 \sim 35^{\circ}C$ の環境温度変化で2.1倍変化することになる。したがって、流路全体の音響抵抗 r_T の許容範囲(上限と下限の比)がこの2.1倍の変化を許容できなければ、環境温度変化に対応できない、ということになる。図6から明らかのように、流路全体のイナータンス m_T が減少するほど、上限と下限の比は大きくなる傾向にあり、流路全体のイナータンス $m_T < 1.5 \times 10^8 kg/m^4$ で上限と下限の比は2.1以上となる。それゆえ、流路全体の音響抵抗 r_T の2.1倍の変化を許容できるようするためには、流路全体のイナータンス m_T を $1.5 \times 10^8 kg/m^4$ 以下に設定すれば良いことがわかる。

【0051】次に、このように決定された流路全体のイナータンス m_T を、ノズル7、インク供給孔6、及び圧力発生室2の三つに分配する。まず、圧力発生室2のイナータンスは、圧力発生室2の形状によって変化するが、最大インク滴径を $38 \sim 43\mu m$ 、圧力波の固有周期を $10 \sim 20\mu s$ 程度に設定しようとした場合、圧力発生室2のイナータンスは、通常 $0.4 \sim 0.6 \times 10^8 kg/m^4$ 程度となる。この実施例の場合、圧力発生

室2の形状は幅 $320\mu\text{m}$ 、高さ $140\mu\text{m}$ 、長さ 2.5mm であるため、圧力発生室2のイナータンスは $0.56 \times 10^8 \text{kg/m}^4$ となる。したがって、流路径全体のイナータンス m_T を $1.5 \times 10^8 \text{kg/m}^4$ とするためには、ノズル7のイナータンスとインク供給孔6のイナータンスの和を、 $0.94 \times 10^8 \text{kg/m}^4$ とする必要があるが、ノズル7とインク供給孔6とは略同一形状であるので、両者のイナータンスは略同等に設定されるべきであり、それゆえ、それぞれのイナータンスの上限値は $0.47 \times 10^8 \text{kg/m}^4$ と決定される。¹⁰

【0052】ところで、ノズル7及びインク供給孔6のイナータンスを減少させるには、流路径（流路断面積）の増加及び流路長さの減少が有効である。しかし、ノズル7の開口径が増加すれば、滴速の低下や微小滴吐出時の安定性低下等の悪影響が生じやすくなるため、ノズル開口径を極端に増加させることは好ましくない。また、ノズル長さが短ければ、吐出直後にヘッド内部に気泡を巻き込みやすくなるため、ノズル長さを極端に短く設定することも好ましくない。一方、滴径約 $3.8 \sim 4.3\mu\text{m}$ のインク滴を滴速 $6 \sim 10\text{m/s}$ 程度で安定吐出させるには、ノズル開口径は、 $2.5 \sim 3.2\mu\text{m}$ 程度、ノズル長さは $7.0 \sim 10.0\mu\text{m}$ 程度が最適であることがわかっている。こうした条件のもとで、ノズル7のイナータンスを減少させるためには、テーパ角を増加させることが最も有効な手段となる。そこで、この実施例では、ノズル径を $3.0\mu\text{m}$ 、ノズル長さを $7.0\mu\text{m}$ 、テーパ角を 15° とすることによって、ノズル7のイナータンスを目標値の $0.44 \times 10^8 \text{kg/m}^4$ とした。²⁰

【0053】なお、テーパ角の最適値はノズル径、ノズル長さ、圧力発生室のイナータンス等によって変化するが、上述のように、ノズル開口径は $2.5 \sim 3.2\mu\text{m}$ 程度、ノズル長さは、 $7.0 \sim 10.0\mu\text{m}$ 程度が最適であり、また、圧力発生室2のイナータンスも大幅に増減することは困難であることを考えると、最適なテーパ角は 10° 以上である。しかしながら、テーパ角が 45° を越えるのは、気泡の巻き込み及びノズル強度の観点から好ましくない。なお、この実施例では、インク供給孔6についても、ノズル7と同等のイナータンスとなるように、ノズル7と同一形状としたことは上述した通りである。⁴⁰

【0054】流路径全体のイナータンス m_T 設定が終わったら、次にインク粘度の設定を行う。具体的には、イナータンス $m_T = 1.5 \times 10^8 \text{kg/m}^4$ での音響抵抗 r_T の下限値（ $4.9 \times 10^{12} \text{Ns/m}^5$ ）に音響抵抗 r_T が設定されるように、環境温度 35°C におけるインク粘度を算出する。この実施例では、インク粘度を $3.0\text{mPa}\cdot\text{s}$ に設定すると、音響抵抗 r_T が下限値（ $4.9 \times 10^{12} \text{Ns/m}^5$ ）と略一致し、これが最高温度（ 35°C ）時における最適なインク粘度となる。したがって、最低温度（ 10°C ）時におけるインク粘度は、最高⁵⁰

温度時の粘度の2.1倍、すなわち $6.3\text{mPa}\cdot\text{s}$ となり、その際の音響抵抗 r_T は $1.0 \times 10^{12} \text{Ns/m}^5$ となる。これは、音響抵抗 r_T の上限値以下であり、最低温度時にも目標リフィル時間の確保が可能となる。なお、この場合、室温（ 20°C ）でのインク粘度は略 $4.5\text{mPa}\cdot\text{s}$ となり（ 20°C の粘度は 10°C の粘度の約1.5倍）、 20°C における音響抵抗 r_T は $7.2 \times 10^{12} \text{Ns/m}^5$ となる。

【0055】このように、ノズル7及びインク供給孔6をテーパ角 15° のテーパ形状に設定し、インク粘度を略 $4.5\text{mPa}\cdot\text{s}$ （ 20°C ）に設定することにより、装置使用温度範囲の全域にわたってリフィル時間の確保とオーバーシュート抑制が可能になる。実際に、この実施例のインクジェット記録ヘッドのリフィル特性評価を実施したところ、最低温度（ 10°C ）時にはリフィル時間が $9.8\mu\text{s}$ 、オーバーシュート量が $2.1\mu\text{m}$ であり、最高温度（ 35°C ）時にはリフィル時間が、 $6.4\mu\text{s}$ 、オーバーシュート量が $9.7\mu\text{m}$ であった。すなわち、装置使用温度範囲の全域にわたって、オーバーシュートを抑制（ $10\mu\text{m}$ 以下）でき、同時に、目標駆動周波数（ 10kHz ）も実現できることが確認できた。

【0056】◇第2実施例

図7は、この発明の第2実施例であるノズルの形状（インク供給孔も同一形状）を示す断面図である。この第2実施例の構成が、上述の第1実施例のそれと大きく異なるところは、第1実施例のノズル7及びインク供給孔6（図4）が、内部形状全体がテーパ形状になされているのに対して、この第2実施例のノズル7a及びインク供給孔6aでは、図7に示すように、圧力発生室2側に向かって徐々に増加するテーパ部71a、61aのほか、開口部付近にストレート部71b、61bを設けるようにした点、及びテーパ角を、 10° 以上に変えて、 $15^\circ \sim 45^\circ$ に設定するようにした点である。

【0057】この第2実施例のノズル7a及びインク供給孔6aでは、開口径を $3.0\mu\text{m}$ 、ストレート部71b、61bの長さを $1.0\mu\text{m}$ 、全長を $7.0\mu\text{m}$ 、テーパ角を 25° に設定され、これにより、これら各部のイナータンスが $0.44 \times 10^8 \text{kg/m}^4$ に調整されている。したがって、圧力発生室2のイナータンス（ $0.56 \times 10^8 \text{kg/m}^4$ ）を加えると、流路径全体のイナータンス m_T は $1.43 \times 10^8 \text{kg/m}^4$ となり、図6から得られる流路径全体のイナータンス m_T の上限値（ $1.5 \times 10^8 \text{kg/m}^4$ ）以下の数値に収まる。なお、テーパ角の最適値は、上記したように、ストレート部長さ、ノズル径、ノズル長さ等に依存するが、最適ノズル開口径やノズル強度や気泡の巻き込み防止等を考慮すると、実用的な形状（ストレート部長さ $1.0 \sim 2.0\mu\text{m}$ 程度）では、最適なテーパ角は 15° 以上 45° 以下となる。

【0058】次に、環境温度 35°C におけるインク粘度

を、 $2 \sim 3 \text{ MPa} \cdot \text{s}$ に調整すれば、流路全体のイナータンス $mT = 1.5 \times 10^8 \text{ kg/m}^4$ での音響抵抗 r_T の下限値 ($4.9 \times 10^{12} \text{ Ns/m}^5$) に一致させることができ、これが最高温度 (35°C) 時における最適インク粘度となる。したがって、最低温度 (10°C) でのインク粘度は $4.8 \text{ MPa} \cdot \text{s}$ となる。また、室温 (20°C) でのインク粘度は約 $3.5 \text{ MPa} \cdot \text{s}$ となり、音響抵抗 r_T は $7.3 \times 10^{12} \text{ Ns/m}^5$ となる。

[0059] このように、ノズル 7a 及びインク供給孔 6a の開口径を $30 \mu\text{m}$ 、ストレート部 71b, 61b の長さを $10 \mu\text{m}$ 、テーパ角を 25° とし、インク粘度を略 $3.5 \text{ MPa} \cdot \text{s}$ (20°C) に設定することにより、装置使用温度範囲の全域にわたって目標リフィル時間 ($100 \mu\text{s}$) を確保でき、同時に、オーバーシュート抑制 ($10 \mu\text{m}$ 以下) も達成できる。また、ノズル 7a 及びインク供給孔 6a に、ストレート部 71b, 61b を設けるようにしたので、製造時における開口径のばらつきを低減でき、ひいては、各ノズル間やヘッド間での特性のばらつきを抑制できる。
20

[0060] 実際に、この第2実施例のインクジェット記録ヘッドのリフィル特性評価を実施したところ、最低温度 (10°C) 時にはリフィル時間が $9.6 \mu\text{s}$ 、オーバーシュート量が $2.5 \mu\text{m}$ であり、最高温度 (35°C) 時にはリフィル時間が $6.2 \mu\text{s}$ 、オーバーシュート量が $9.8 \mu\text{m}$ であった。すなわち、装置使用温度範囲の全域にわたって、過度のオーバーシュートが発生することなく、目標駆動周波数 (10 kHz) で安定して動作することを確認できた。

[0061] ◇ 第3実施例

30

図8は、この発明の第3実施例であるノズルの形状（インク供給孔も同一形状）を示す断面図である。この第3実施例では、ノズル 7b 及びインク供給孔 6b の径が、圧力発生室 2 側に向かって徐々に増加し、ノズル 7b 及びインク供給孔 6b の縦断面が、該ノズル 7b 及びインク供給孔 6b の長さと略同等の半径を有するR形状とされていると共に、ノズル 7b 及びインク供給孔 6b の長さが $50 \sim 100 \mu\text{m}$ （好ましくは、 $70 \sim 100 \mu\text{m}$ ）に設定されているのが特徴である。この例のノズル 7b 及びインク供給孔 6b は、電鋸（エレクトロフォーミング）によって作成される。
40

[0062] この例のノズル 7b 及びインク供給孔 6b では、開口径が $30 \mu\text{m}$ 、長さが $70 \mu\text{m}$ に設定されて、これら各部のイナータンスが共に $0.44 \times 10^8 \text{ kg/m}^4$ となっている。したがって、圧力発生室 2 のイナータンス ($0.56 \times 10^8 \text{ kg/m}^4$) を加えると、流路系全体のイナータンス mT は $1.43 \times 10^8 \text{ kg/m}^4$ となり、図6から明らかのように、流路系全体のイナータンス mT の上限値以下の数値に収まる。なお、ノズルの開口径を $25 \sim 32 \mu\text{m}$ とした場合、必要
50

なイナータンスを得るためにには、ノズル長さを $100 \mu\text{m}$ 以下に設定する必要がある。

[0063] 次に、環境温度 35°C におけるインク粘度を、 $2.2 \text{ MPa} \cdot \text{s}$ に調整すれば、流路全体のイナータンス $mT = 1.5 \times 10^8 \text{ kg/m}^4$ での音響抵抗 r_T の下限値 ($4.9 \times 10^{12} \text{ Ns/m}^5$) に一致させることができ、これが最高温度 (35°C) 時における最適インク粘度となる。したがって、最低温度 (10°C) でのインク粘度は最高温度時の粘度の2.1倍、すなわち $4.6 \text{ MPa} \cdot \text{s}$ となり、その際の音響抵抗 r_T は $10.0 \times 10^{12} \text{ Ns/m}^5$ となる。これは、音響抵抗 r_T の上限値以下であり、最低温度時にも目標リフィル時間の確保が可能となる。なお、この場合、室温 (20°C) でのインク粘度は略 $3.3 \text{ MPa} \cdot \text{s}$ となり、その際の音響抵抗 r_T は $7.2 \times 10^{12} \text{ Ns/m}^5$ となる。

[0064] このように、ノズル 7b 及びインク供給孔 6b の開口径を $30 \mu\text{m}$ 、長さ $70 \mu\text{m}$ のR形状とし、インク粘度を約 $3.3 \text{ MPa} \cdot \text{s}$ (20°C) に設定することにより、装置使用温度範囲の全域にわたって目標リフィル時間 ($100 \mu\text{s}$) を確保でき、同時に、オーバーシュート抑制 ($10 \mu\text{m}$ 以下) も達成できる。

[0065] 実際に、この第3実施例のインクジェット記録ヘッドのリフィル特性評価を実施したところ、最低温度 (10°C) 時にはリフィル時間が $9.8 \mu\text{s}$ 、オーバーシュート量が $2.0 \mu\text{m}$ であり、最高温度 (35°C) 時にはリフィル時間が $6.5 \mu\text{s}$ 、オーバーシュート量が $9.6 \mu\text{m}$ であった。すなわち、装置使用温度範囲の全域にわたって、過度のオーバーシュートが発生することなく、目標駆動周波数 (10 kHz) で安定して動作することを確認できた。

[0066] 以上、この発明の実施例を図面により詳述してきたが、具体的な構成はこの実施例に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計の変更等があつてもこの発明に含まれる。例えば、ノズルやインク供給孔の形状は、テーパ形状やR形状に限らない。同様に、開口形状は、円形形状に限らず、長方形や三角形やその他の形状でも良い。また、共通インク供給室にプールされているインクを圧力発生室に移動させるインク供給路としては、板体に穿孔されたインク供給孔に限らず、筒状の又は管状のインク供給路でも良い。また、ノズル、圧力発生室、インク供給孔のそれぞれの位置関係も、この実施例で示した構造に限定されるものではなく、例えば、ノズルを圧力発生室の中央部等に配置しても勿論良い。

[0067] また、上述の実施例では、互いに同一形状のノズル 7 とインク供給孔 6 を用いたが、必ずしも、同一形状である必要はなく、インク供給孔の形状はいかなる形状でもかまわない。インク供給孔では径や長さに大きな制約がないため、ノズルに比べると形状の自由度は

19

高い。例えば、インク供給孔を径 $4.5 \mu\text{m}$ のストレート形状（テーパ角0度）とし、長さを $7.0 \mu\text{m}$ としても、上述の第1実施例において目標とするイナータンス $0.44 \times 10^{-8} \text{ kg/m}^4$ を得ることができる。

【0068】また、上述の実施例では、インク供給孔のイナータンスを、ノズルのそれと同等に設定したが、これに限らず、流路全体として、目標のイナータンスが得られれば良いのであるから、吐出効率の面から考えると、ノズル7のイナータンスをインク供給孔6のイナータンスよりも小さく設定することが望ましい。何故なら、ノズル7のイナータンスがインク供給孔6よりも大きければ、圧力波のエネルギーがインク供給孔6側に逃げる量が増大し、吐出効率が低下してしまうからである。しかし、製造上の便宜を考慮するなら、上述の実施例で述べたと同様に、両者のイナータンスを略同等に設定するようにしても良い。

【0069】また、上述の実施例では、この発明を、カイザー型インクジェット記録ヘッドに適用した場合について述べたが、圧力発生手段によって圧力発生室内に圧力変化を生じさせることにより、ノズルからインク滴を吐出させるインクジェット記録ヘッドである限り、カイザー型インクジェット記録ヘッドに限定されない。同様に、圧力発生手段として、圧電アクチュエータのほか、別種の電気機械変換素子や磁歪素子や電気熱変換素子を用いても良い。

【0070】

【発明の効果】以上説明したように、この発明の構成によれば、装置使用時の環境温度が、 $10 \sim 35^\circ\text{C}$ 程度の範囲で変化しても、常に、目標リフィル時間（約 $100 \mu\text{s}$ ）を確保できると共に、オーバーシュートも約 $10 \mu\text{m}$ 以下に抑制できるので、高速動作時でも、インク滴径に高い精度及び安定性を確保できる。それゆえ、高速、かつ（滴径変調による）高画質のインクジェット階調記録を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は、この発明の第1実施例で用いられるインクジェット記録ヘッドの構成を示す断面図、(b)は、同インクジェット記録ヘッドを分解して示す分解断面図である。

【図2】同インクジェット記録ヘッドを2値で駆動する滴径非変調型駆動回路の電気的構成を示すブロック図で

20

ある。

【図3】同インクジェット記録ヘッドを多階調で駆動する滴径変調型駆動回路の電気的構成を示すブロック図である。

【図4】同インクジェット記録ヘッドを構成するノズルの形状（インク供給孔も同一形状）を示す断面図である。

【図5】同実施例における流路全体のイナータンスマ_Tと音響抵抗 r_T との関係を示すグラフである。

【図6】同実施例における流路全体のイナータンスマ_Tと音響抵抗 r_T との関係を示すグラフである。

【図7】この発明の第2実施例であるノズルの形状（インク供給孔も同一形状）を示す断面図である。

【図8】この発明の第3実施例であるノズルの形状（インク供給孔も同一形状）を示す断面図である。

【図9】図9は、この発明の理論的妥当性について説明するための図で、リフィル動作時におけるインクジェット記録ヘッドの等価回路図である。

【図10】この発明の理論的妥当性について説明するための図で、流路全体のイナータンスマ_Tと音響抵抗 r_T との関係を示すグラフである。

【図11】従来技術を説明するための図で、オンデマンド型インクジェット記録ヘッドのうち、カイザー型と呼ばれるインクジェット記録ヘッドの基本構成を概略示す断面図である。

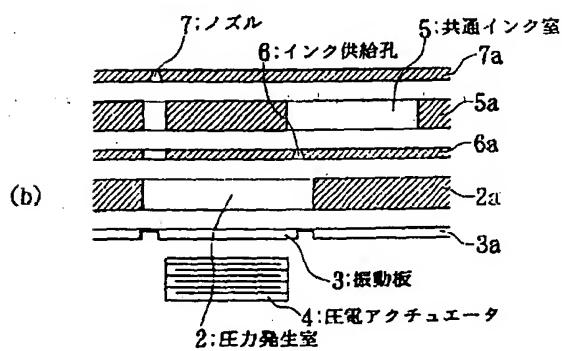
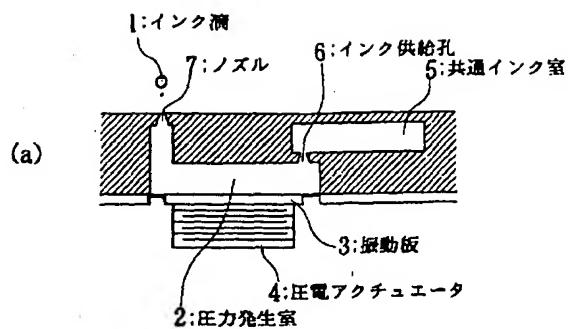
【図12】従来技術を説明するための図で、上述のインク滴吐出過程において、ノズル部のメニスカスがどのように変化するかを示す断面図である。

【図13】従来技術を説明するための図で、インク滴吐出後におけるメニスカス位置の時間的変動を示すグラフである。

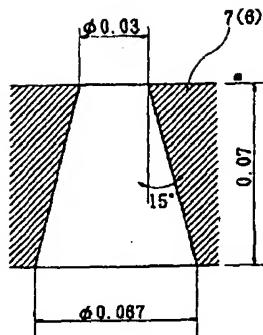
【符号の説明】

- | | |
|-----------|-------------------|
| 1 | インク滴 |
| 2 | 圧力発生室 |
| 3 | 振動板 |
| 4 | 圧電アクチュエータ（圧力発生手段） |
| 5 | 共通インク室（インク供給室） |
| 6, 6a, 6b | インク供給孔（インク供給路） |
| 7, 7a, 7b | ノズル |
| 61a, 71a | テーパ部 |
| 61b, 71b | ストレート部 |

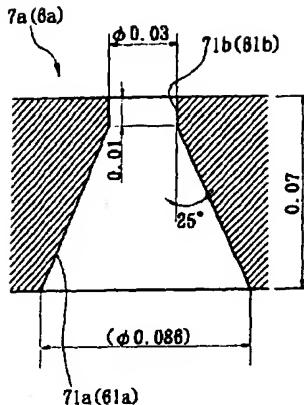
【図1】



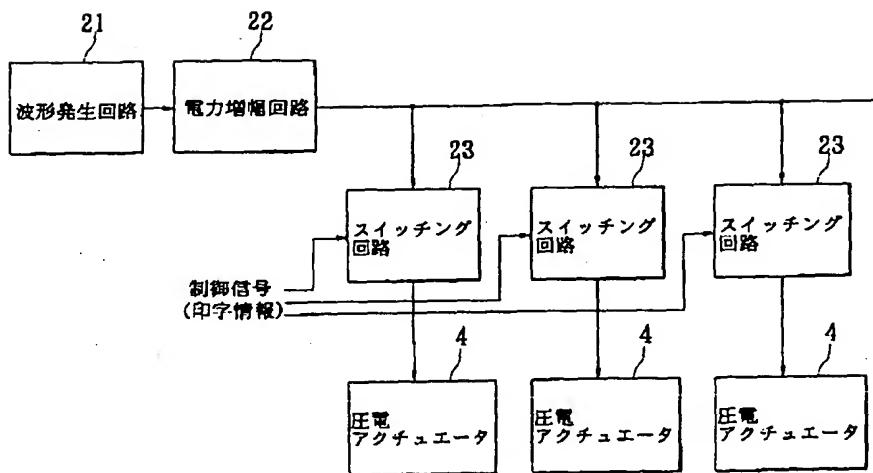
【図4】



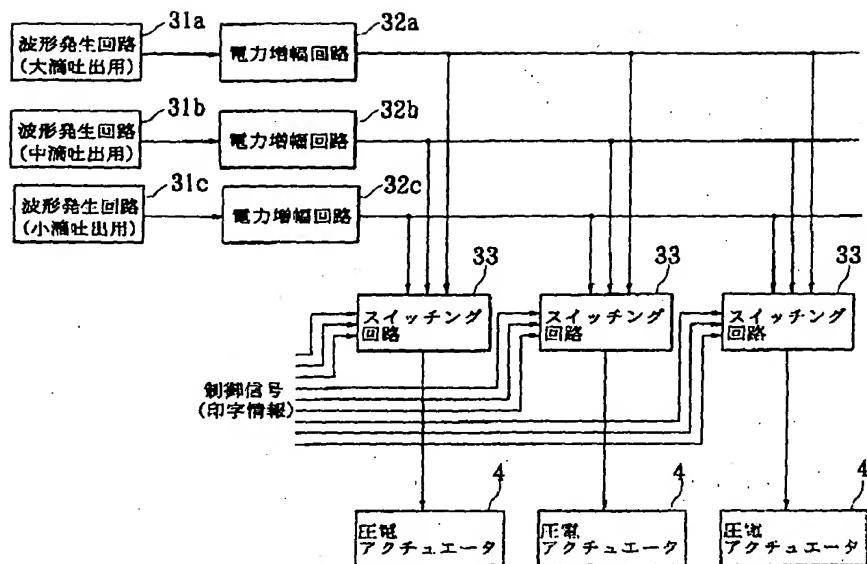
【図7】



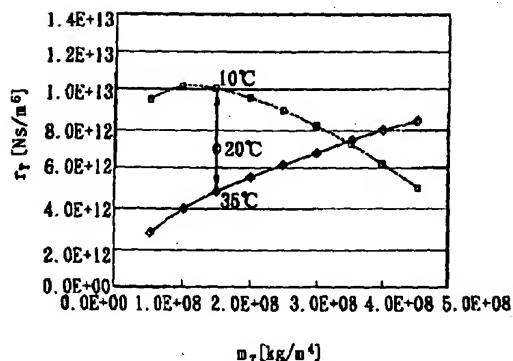
【図2】



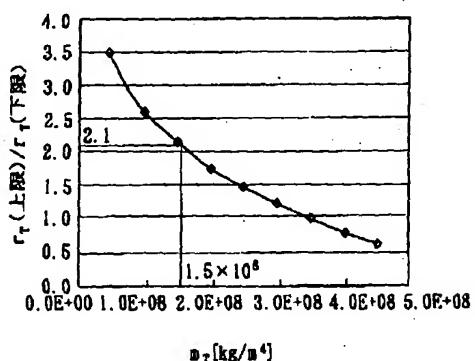
【図3】



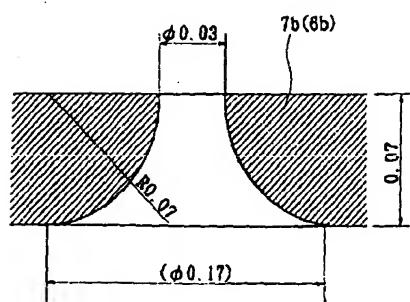
【図5】



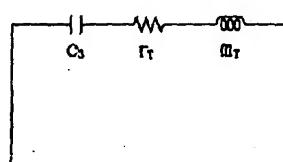
【図6】



【図8】

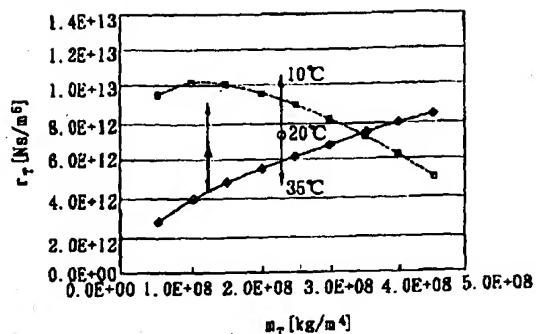


【図9】

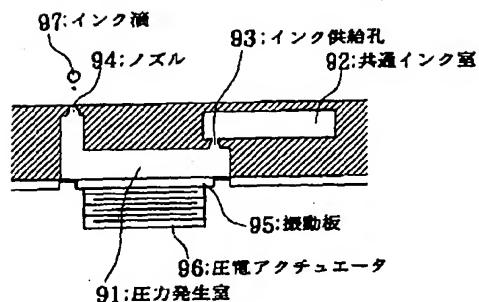


m_T : イナーツンス(音響質量)
 r_T : 音響抵抗
 C_3 : 音響容量

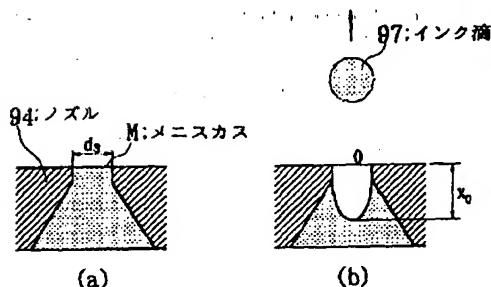
【図10】



【図11】



【図12】



【図13】

